

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ОЧАГА ВЗРЫВА МНОГОТОЧЕЧНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

«Цифровая Обработка Сигналов», №2, 2011 г. с. 27-31.

10. Саниев, К.Б. Предварительный модельный эксперимент по обнаружению в потоковых сигналах изображений объектов, заданных нечёткой информацией о габаритах и конфигурации / К.Б. Саниев // Сб. тр. ОАО «Концерн

радиостроения «ВЕГА», № 2(5), 2011, с.197-204.

Ведущий научный сотрудник, Саниев К. Б., к.т.н., 8 (906) 703-47-91, kbsaniev@concord.ru – ЗАО «МНИТИ» (Московский научно-исследовательский телевизионный институт), 8 (499) 787-06-81, saniev@mniti.ru,

УДК: 654.924.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ОЧАГА ВЗРЫВА МНОГОТОЧЕЧНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

С.А. Лисаков, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин

В статье рассматривается применение метода центра тяжести для расчета координат очага взрыва в многоточечной системе, состоящей из нескольких не координатно-чувствительных оптико-электронных датчиков, регистрирующих только поток оптического излучения. Предложенный метод апробирован методами компьютерного моделирования. Оценена относительная погрешность определения координат очага взрыва.

Ключевые слова: взрывозащита, многоточечная оптико-электронная система, координаты очага взрыва, метод центра тяжести.

Введение

В мировой практике усовершенствование оборудования взрывозащиты ведется по пути создания принципиально новых средств – автоматических систем, способных локализовать взрыв на начальной стадии развития.

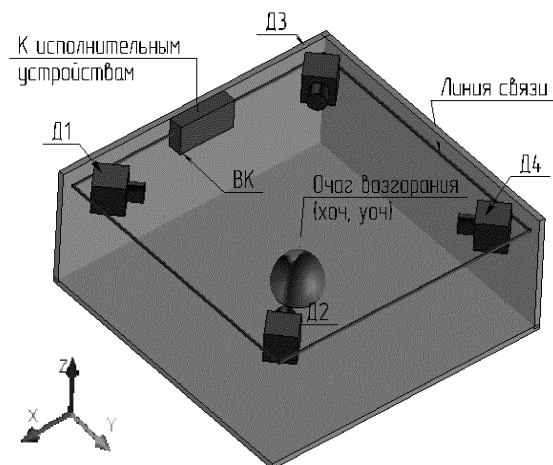
Для обеспечения максимального быстрого действия такие системы строятся на базе оптико-электронных датчиков, регистрирующих факт возникновения возгорания. Получение при этом дополнительной информации о пространственном расположении очага взрыва позволяет значительно повысить эффективность и рентабельность применения автоматической системы взрывоподавления [1 – 5].

В настоящее время на кафедре методов и средств измерений и автоматизации (МСИА) Бийского технологического института ведется разработка многоточечной оптико-электронной системы определения координат очага взрыва (МОЭС). В основе работы системы лежит многоточечный метод контроля, позволяющий обеспечить охрану объектов сложной конфигурации. Система построена на основе распределенной сети простых оптико-электронных датчиков интегрального типа, которые регистрируют только поток оптического излучения. Зная пространственное расположение датчиков и значения их выходных сигналов, можно определить

координаты источника оптического излучения внутри охраняемой зоны.

Постановка задачи

На рисунке 1 приведена схема размещения МОЭС, состоящей из четырех датчиков, в охраняемом помещении прямоугольной фор-



*Д1- Д4 – оптико-электронные датчики;
VK – вычислительный комплекс;*

$x_{оч}$, $y_{оч}$ – координаты очага взрыва, м.

Рисунок 1 - Схема размещения МОЭС на охраняемом объекте

мы. Для охраны объектов более сложной формы количество датчиков может быть увеличено. Сигналы с датчиков через линию

РАЗДЕЛ 2. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ДАННЫХ

связи поступают на вычислительный комплекс (ВК). В случае превышения порогового значения сигналом какого-либо датчика, вычислительный комплекс принимает решение о наличии возгорания и определяет его координаты. Затем, в зависимости от полученных координат, активируется одно из исполнительных (взрывоподавляющих) устройств, расположенных обычно в верхней части охраняемого объекта в виде сетки.

Для исследования работы системы разработана компьютерная модель, позволяющая выполнять расчет выходных сигналов датчиков [6].

Напряжение на выходе опико-электронного датчика рассчитывается по формуле:

$$U_d = K_{\text{птт}}(I_T + I_\phi), \quad (1)$$

где I_T – темновой ток фотодиода, А; I_ϕ – фототок, обусловленный внешним излучением, А; $K_{\text{птт}}$ – коэффициент преобразования преобразователя ток-напряжение, В/А.

Очаг возгорания можно представить в виде площадного излучателя, который является серым телом с коэффициентом излучения ε_T .

Очаг возгорания на ранней стадии имеет правильную сферическую форму [7] и занимает часть углового поля датчиков системы. Поэтому очаг возгорания можно представить в виде площадного излучателя с видимой площадью ΔA , определяемой диаметром очага возгорания $D_{\text{оч}}$. Для описания очага также необходимо знать значение его температуры T .

Приняв допущение, что очаг возгорания является ламбертовским излучателем со свойствами серого тела, при спектральной селективности приема излучения фотоприемником и пропускания среды фототок рассчитывается по формуле [8]:

$$I_\delta = \varepsilon_T \frac{D^2 \Delta A \cos \theta}{4l^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{I\lambda} \cdot \tau_{c\lambda} \tau_{o\lambda} M_{e(T,\lambda)} d\lambda, \quad (2)$$

где $M_{e(T,\lambda)}$ – энергетическая светимость абсолютно черного тела Вт/м²; T – температура очага, К; λ – длина волны излучения, м; $\lambda_1 \dots \lambda_2$ – спектральный диапазон, в котором происходит прием излучения фотоприемником; $\tau_{o\lambda}$ – коэффициент пропускания оптической системы; $\tau_{c\lambda}$ – коэффициент пропускания промежуточной среды; $S_{I\lambda}$ – спектральная токовая чувствительность фотоприемника,

А/Вт; ε_T – коэффициент излучения очага; D – диаметр входного зрачка, м; l – расстояние до очага, м; ΔA – видимая площадь очага, м²; θ – угол падения – угол между оптической осью датчика и направлением на центр очага возгорания, град.

Очевидно, что величина U_d (см. выражения (1), (2)) зависит от взаимного расположения очага возгорания и каждого из датчиков.

Используя соотношения (1) и (2), можно определить совокупность сигналов на выходах датчиков системы в зависимости от расположения очага возгорания для заданных температуры и диаметра очага:

$$\begin{cases} U_{d1} = f_1(x_{\text{оч}}, y_{\text{оч}}, z_{\text{оч}}); \\ U_{d2} = f_2(x_{\text{оч}}, y_{\text{оч}}, z_{\text{оч}}); \\ \vdots \\ U_{dN} = f_N(x_{\text{оч}}, y_{\text{оч}}, z_{\text{оч}}), \end{cases} \quad (3)$$

где $x_{\text{оч}}, y_{\text{оч}}, z_{\text{оч}}$ – координаты очага взрыва, м; $U_{d1}, U_{d2}, \dots, U_{dN}$ – сигналы на выходах датчиков, В.

К сожалению, аналитическое решение системы (3) с целью определения координат очага взрыва достаточно сложно для практического использования, и, кроме того, параметры очага возгорания и промежуточной среды обычно заранее неизвестны. Одной из аналогичных физических задач является задача определения центра тяжести системы материальных точек. В связи с этим была сформулирована цель – разработать способ определения координат очага взрыва на основе метода центра тяжести.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- разработать методику расчета координат очага взрыва на основе метода центра тяжести;
- реализовать методику на ПЭВМ;
- оценить погрешность определения координат.

Результаты моделирования

Система уравнений для решения задачи определения координат очага на плоскости по сигналам с датчиков имеет вид:

$$\begin{cases} x_{\text{оч}} = f_1(U_{d1}, U_{d2}, \dots, U_{dN}); \\ y_{\text{оч}} = f_2(U_{d1}, U_{d2}, \dots, U_{dN}). \end{cases}$$

Расчет координат очага взрыва можно выполнить на основе решения задачи о координатах центра тяжести системы материальных точек, проводя аналогии между массами

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ОЧАГА ВЗРЫВА МНОГОТОЧЕЧНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

материальных точек и выходными сигналами датчиков МОЭС.

Если массы m_1, m_2, \dots, m_n сосредоточены в точках $M_1(x_1, y_1), M_2(x_2, y_2), \dots, M_n(x_n, y_n)$ на плоскости, то координаты центра тяжести $M_m(x_m, y_m)$ определяются формулами:

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad y_m = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}.$$

При применении метода центра тяжести к расчету координат очага возгорания сигналы на выходах датчиков U_{oi} соответствуют массам частиц m_i . Центр тяжести сигналов датчиков рассчитывается по формуле:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_{oi} \cdot U_{oi}}{\sum_{i=1}^n U_{oi}}, \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_{oi} \cdot U_{oi}}{\sum_{i=1}^n U_{oi}}. \quad (4)$$

где x_{oi}, y_{oi} – координаты i -го датчика на плоскости.

Однако, применение выражений (4) для определения координат очага возгорания приводит к значительным погрешностям. Это связано со значительной нелинейностью зависимости выходных сигналов датчиков от расстояния до очага (рисунок 2).

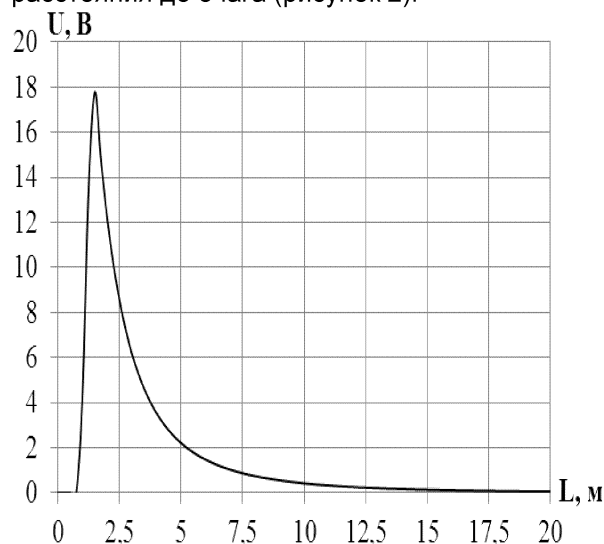


Рисунок 2 - Зависимость выходного сигнала датчика от расстояния до очага

Для повышения точности определения координаты было предложено ввести некоторые нелинейные компенсационные функции $\rho(x_c, y_c)$, определяемые на основе аппроксимации зависимости отношения центра тяжести

сти сигналов к действительному значению координат очага от положения на плоскости:

$$\rho_x(x_c, y_c) = \frac{x_c}{x_{очд}}, \quad \text{при } y_{очд} = y_c;$$

$$\rho_y(x_c, y_c) = \frac{y_c}{y_{очд}}, \quad \text{при } x_{очд} = x_c,$$

где $x_{очд}, y_{очд}$ – действительные значения координат возгорания, полученные с помощью компьютерной модели.

Предложенная методика расчета координат очага возгорания на основе метода центра тяжести с введением компенсационных функций была реализована в виде программы для ПЭВМ.

В простейшем случае система состоит из двух датчиков (рисунок 3). Этого достаточно для охраны помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше остальных (например, шахты).

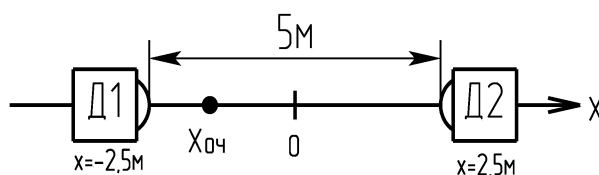


Рисунок 3 - Способ расположения МОЭС в вытянутом помещении

При этом определяется одна координата по оси Ox в соответствии с выражением:

$$x_{оч} = x_c \cdot \rho(x_c),$$

где $\rho(x_c) = -x_c^2 + 1,26$.

Компенсационная функция определяется следующим образом. Для 10 точек внутри охраняемой зоны на оси Ox по математической модели рассчитываются напряжения на датчиках $U_{д1}$ и $U_{д2}$. Затем, в соответствии с выражениями (4), рассчитывается координата центра тяжести сигналов x_c и определяется значение компенсационной функции в каждой точке (полученные точки обозначены окружностями на рисунке 4). Совокупность полученных точек аппроксимируется функцией $\rho(x_c)$ по методу наименьших квадратов. Полученная компенсационная функция показана на рисунке 4 сплошной линией, (пунктирной линией обозначены допустимые диапазоны отклонений точек от аппроксимирующей кривой).

График зависимости действительного значения координаты очага по оси Ox от рассчитанного по методу центра тяжести представлен на рисунке 5.

РАЗДЕЛ 2. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ДАННЫХ

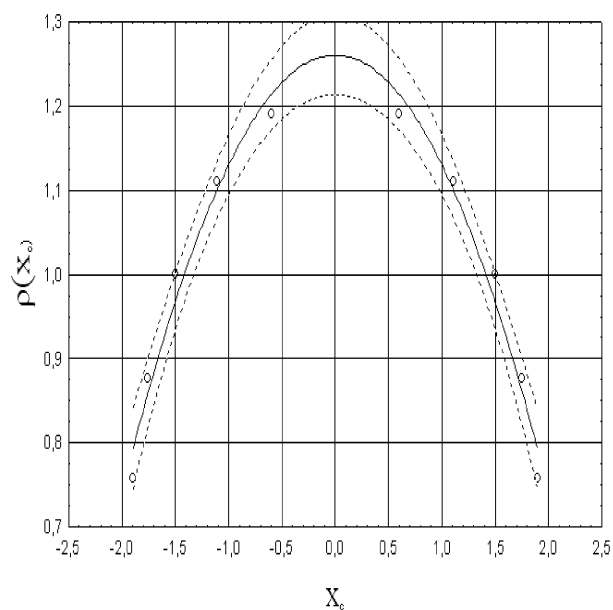


Рисунок 4 - Вид аппроксимированной функции $\rho(x_c)$ для одномерного случая

Относительная погрешность определения координат по оси Ox не превышает 5%.

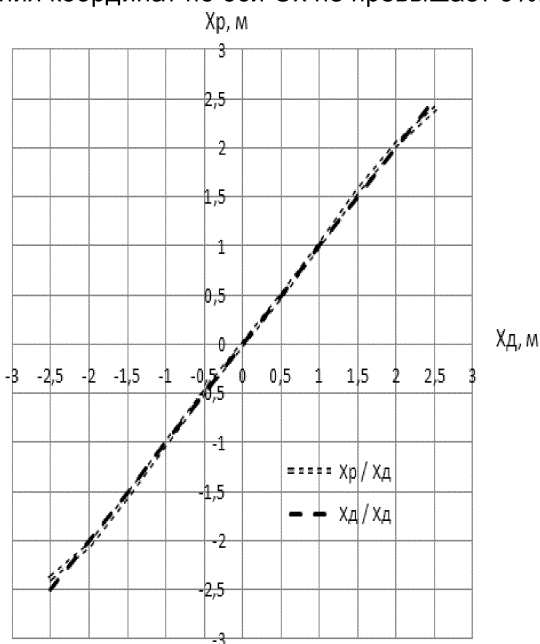


Рисунок 5 - Зависимость действительного значения координаты очага по оси Ox от рассчитанного по методу центра тяжести для одномерного случая

Если линейные размеры помещения соизмеримы между собой (помещение прямоугольной или квадратной формы), необходимо использовать четыре датчика (рисунок 6).

В этом случае компенсационная функция уже аппроксимируется поверхностью. Для схемы, показанной на рисунке 6, компенса-

ционная функция для координаты x описывается выражением:

$$\rho_x(x_c, y_c) = -0,115x_c^2 + 0,12y_c^2 + 0,77$$

и имеет вид, показанный на рисунке 7.

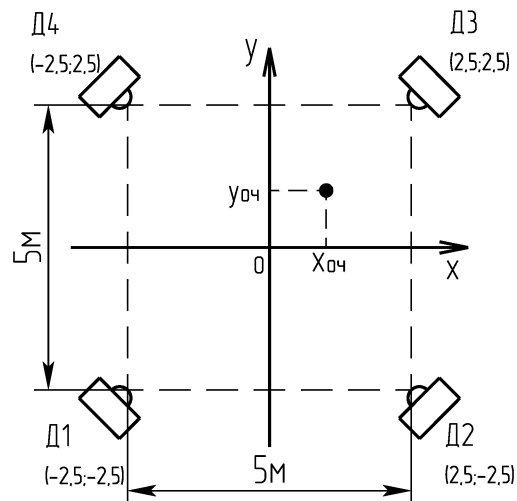


Рисунок 6 - Способ расположения датчиков в помещении квадратной формы

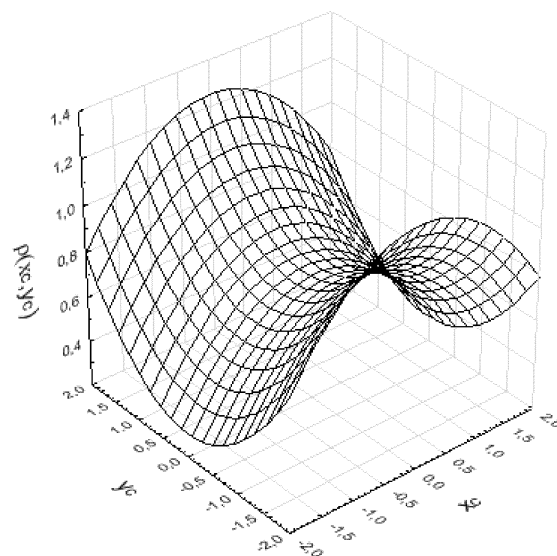


Рисунок 7 - Вид аппроксимированной функции $\rho_x(x_c, y_c)$

Компенсационная функция определяется аналогично одномерному случаю, только опорные точки компенсационной функции располагаются в узлах пространственной сетки по всей охраняемой площади.

Для координаты y функция $\rho_y(x_c, y_c)$ имеет аналогичный вид, поскольку датчики установлены по углам квадрата.

Графики зависимости действительного значения координаты очага от рассчитанного по методу центра тяжести по оси Ox представлены на рисунке 8.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ОЧАГА ВЗРЫВА МНОГОТОЧЕЧНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

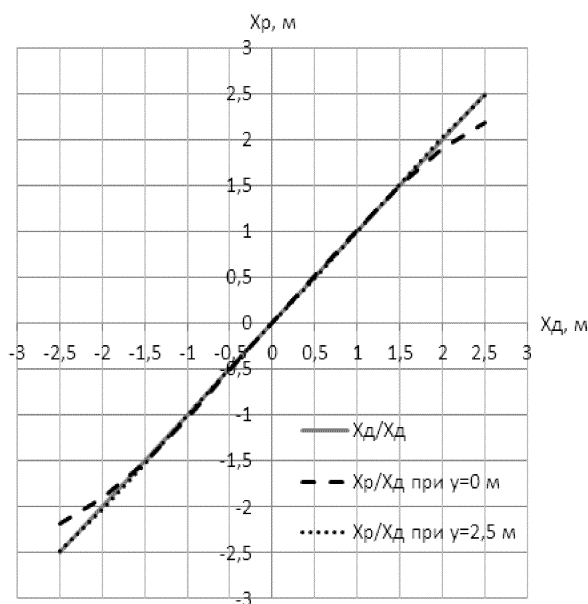


Рисунок 8 - Зависимость действительного значения координаты очага по оси Ox от рассчитанного по методу центра тяжести для двух случаев

Относительная погрешность определения координат по осям Ox и Oy не превышает 13 %.

Заключение

В результате выполнения работ разработана методика расчета координат очага взрыва на основе метода центра тяжести. Методика реализована на ПЭВМ и апробирована на базе компьютерного моделирования. При этом расчетная относительная погрешность определения координат для системы из двух датчиков не превышает 5%, а для системы из четырех датчиков – 13%. Погрешность определения координат обусловлена погрешностью аппроксимации компенсационных функций $\rho(x_c, y_c)$. Дальнейшая работа направлена на экспериментальное исследование работы системы в соответствии с предложенным способом определения координат.

Работа выполняется при поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-4677.2012.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевцов, Н.Р. Взрывозащита горных выработок (курс лекций): учебное пособие для вузов / Н.Р. Шевцов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк : ДонНТУ, 2002. – 280 с.
2. Повернов, Е.С. Оптико-электронный датчик координат очага возгорания на базе одноэлементного позиционно-чувствительного детектора / Е.С. Повернов, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2012. – № 2. – С. 161–164. – Режим доступа: http://s-sibsb.ru/images/articles/2012/2/39_157-160.pdf
3. Сидоренко, А.И. Оптическая система координатного пирометрического датчика обнаружения очага возгорания с оптическими затворами / А.И. Сидоренко, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2012. – № 2. – С. 161–164. – Режим доступа: http://s-sibsb.ru/images/articles/2012/2/40_161-164.pdf.
4. Pavlov, A.N. Optoelectronic system for determination of ignition center three-dimensional coordinates at initial stage / A.N.Pavlov, S.A.Terentiev, E.S.Povernov, E.V.Sypin - International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2010: Proceedings, 2010. - С. 417-419.
5. Terentiev, S.A. Designing of optical system with cylindrical lenses of ignition center coordinates pyrometric sensor / S.A.Terentiev, A.N.Pavlov, E.S.Povernov, E.V.Sypin // International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2010: Proceedings, – 2010. - С. 430-433.
6. Лисаков, С.А. Компьютерное моделирование многоточечной оптико-электронной системы определения пространственного расположения очага взрыва / С.А. Лисаков, А.В. Кураев, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский Научный Вестник. – 2012 г. – №2. – с.133–136. – Режим доступа: http://s-sibsb.ru/images/articles/2012/2/33_133-136.pdf
7. Sidorenko A.I. Experimental laboratory unit for detection of explosion characteristics of three-component gas-dispersed medium of dust-methane-air / A.I. Sidorenko, A.N. Pavlov, I.A.Uskova, E.V. Sypin – 2010 11th Annual International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2010 - Altai, 2010. – С. 426-429.
8. Якушенков, Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для студентов вузов / Ю.Г. Якушенков. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2011. – 568 с.

Аспирант **Лисаков С.А.** foxlsa@mail.ru; канд. техн. наук доцент кафедры **Павлов А.Н.** pap@bti.secna.ru; канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры **Сыпин Е.В.** sev@bti.secna.ru. **Бийский технологический институт АлтГТУ (БТИ АлтГТУ) кафедра методов средств измерений и автоматизации, тел. (3854) 432450.**